

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10313138 A**

(43) Date of publication of application: 24 . 11 . 98

(51) Int. Cl.

H01L 43/08
G11B 5/39
H01F 10/08

(21) Application number: **09123797**(71) Applicant: **NEC CORP**

(22) Date of filing: 14 . 05 . 97

(72) Inventor: **HAYASHI KAZUHIKO**

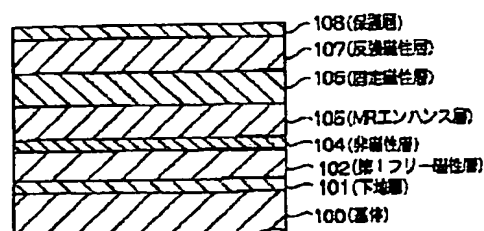
(54) **MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND
 MAGNETORESISTIVE SENSOR USING THIS,
 MAGNETORESISTANCE DETECTING SYSTEM
 AND MAGNETIC MEMORY SYSTEM**

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain good characteristic in output value, output waveform and pit error rate as a magnetoresistive element and as a magnetoresistive sensor using this element, a magnetoresistance detecting system and a magnetic memory system, and also to obtain good characteristic in thermal reliability as well.

SOLUTION: This element is one formed by laminating in the order a base layer 101, an NiFe layer 102, a non-magnetic layer 104, a fixed magnetic layer 106, an antiferromagnetic layer 107 and a protective layer 108 on a base body 100. The layer 108 consists of a metallic layer or the film thickness of 2 nm or thicker to 7 nm or thinner. A metal used for the metallic layer which is used for the protective layer includes for example Ti, V, Cr, Co, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt or Au.



40 7月

構造工の類似性は非常に大
他、製造方法、工程等
合致する点に於いては、
記載あり

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 10 - 3 1 3 1 3 8

(43) 公開日 平成 10 年 (1998) 11 月 24 日

(51) Int. Cl. °

識別記号

F I

H 0 1 L 43/08
G 1 1 B 5/39
H 0 1 F 10/08

H 0 1 L 43/08 Z
G 1 1 B 5/39
H 0 1 F 10/08

審査請求 有 請求項の数 1 5 O L (全 2 2 頁)

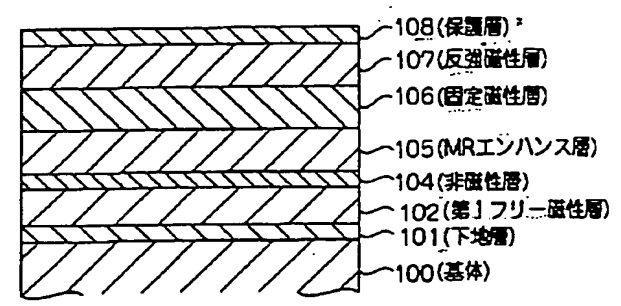
(21) 出願番号 特願平 9 - 123797
(22) 出願日 平成 9 年 (1997) 5 月 14 日

(71) 出願人 000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
(72) 発明者 林 一彦
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式
会社内
(74) 代理人 弁理士 高橋 勇

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子並びにこれを用いた磁気抵抗効果センサ、磁気抵抗検出システム及び磁気記憶システム

(57) 【要約】
【課題】 磁気抵抗効果素子として、並びにこれを用いた磁気抵抗効果センサ、磁気抵抗検出システム及び磁気記憶システムとして、出力値、出力波形、及びビットエラーレートにおいて良好な特性を得るとともに、熱的な信頼性においても良好な特性を得る。

【解決手段】 本発明の磁気抵抗効果素子は、基体 100 上に、下地層 101、NiFe 層 102、非磁性層 104、固定磁性層 106、反強磁性層 107 及び保護層 108 が順次形成されたものである。そして、保護層 108 は、2 nm 以上かつ 7 nm 以下の膜厚の金属からなる。保護層の金属は、例えば、Ti、V、Cr、Co、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt 又は Au である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁性層、非磁性層、磁性層及び反強磁性層がこの順又はこの逆の順に積層され、更にこれらの上に保護層を有する磁気抵抗効果素子において、前記保護層は、2 nm以上かつ7 nm以下の膜厚の金属からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】 前記保護層の金属は、Ti, V, Cr, Co, Cu, Zn, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt及びAuからなる群から選択された単体又は二以上の合金である、請求項1記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項3】 磁性層、非磁性層、磁性層及び反強磁性層がこの順又はこの逆の順に積層され、更にこれらの上に保護層を有する磁気抵抗効果素子において、前記保護層は、2 nm以上かつ7 nm以下の膜厚の酸化物からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項4】 磁性層、非磁性層、磁性層及び反強磁性層がこの順又はこの逆の順に積層され、更にこれらの上に保護層を有する磁気抵抗効果素子において、前記保護層は、2 nm以上かつ7 nm以下の膜厚の窒化物からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項5】 磁性層、非磁性層、磁性層及び反強磁性層がこの順又はこの逆の順に積層され、更にこれらの上に保護層を有する磁気抵抗効果素子において、前記保護層は、2 nm以上かつ7 nm以下の膜厚の、酸化物と窒化物との混合物からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項6】 磁性層、非磁性層、磁性層及び反強磁性層がこの順又はこの逆の順に積層され、更にこれらの上に保護層を有する磁気抵抗効果素子において、前記保護層は、2 nm以上かつ7 nm以下の膜厚であり、なおかつ前記反磁性層又は磁性層と接する側に設けられた金属と、この金属上に設けられた酸化物との二層からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項7】 磁性層、非磁性層、磁性層及び反強磁性層がこの順又はこの逆の順に積層され、更にこれらの上に保護層を有する磁気抵抗効果素子において、前記保護層は、2 nm以上かつ7 nm以下の膜厚であり、なおかつ前記反磁性層又は磁性層と接する側に設けられた金属と、この金属上に設けられた窒化物との二層からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項8】 磁性層、非磁性層、磁性層及び反強磁性層がこの順又はこの逆の順に積層され、更にこれらの上に保護層を有する磁気抵抗効果素子において、前記保護層は、2 nm以上かつ7 nm以下の膜厚であり、なおかつ前記反磁性層又は磁性層と接する側に設けられた金属と、この金属上に設けられた酸化物及び窒化物の混合物との二層からなることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項9】 前記保護層の酸化物は、Si, Al; Ti又はTaの酸化物である、請求項3, 5, 6又は8記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項10】 前記保護層の窒化物は、Si, Al, Ti又はTaの窒化物である、請求項4, 5, 7又は8記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項11】 前記保護層の金属は、Ta, Hf, Zr, W, Cr, Ti, Mo, Pt, Ni, Ir, Cu, Ag, Co, Zn, Ru, Re, Au, Os, Pd, Nb, V及びYからなる群から選択された単体又は二以上の合金である、請求項6, 7又は8記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項12】 基板上に下シールド層、下ギャップ層及び磁気抵抗効果素子が順次積層されており、前記下シールド層はパターン化されており、前記磁気抵抗効果素子はパターン化されておりその端部に接するように縦バイアス層及び下電極層が順次積層されており、この下電極層及び前記磁気抵抗効果素子の上に上ギャップ層及び上シールド層が順次積層されているシールド型の磁気抵抗効果センサにおいて前記磁気抵抗効果素子が請求項1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10又は11記載の磁気抵抗効果素子であることを特徴とする磁気抵抗効果センサ。

【請求項13】 基板上に下シールド層、下ギャップ層及び磁気抵抗効果素子が順次積層されており、前記下シールド層はパターン化されており、前記磁気抵抗効果素子はパターン化されておりその上部に一部重なるように縦バイアス層及び下電極層が順次積層されており、この下電極層及び前記磁気抵抗効果素子の上に上ギャップ層及び上シールド層が順次積層されているシールド型の磁気抵抗効果センサにおいて前記磁気抵抗効果素子が請求項1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10又は11記載の磁気抵抗効果素子であることを特徴とする磁気抵抗効果センサ。

【請求項14】 請求項12又は13記載の磁気抵抗効果センサと、この磁気抵抗効果センサを通る電流を生じる手段と、前記磁気抵抗効果センサによって検出される磁界の関数としての抵抗率変化を検出する手段とを備えた磁気抵抗検出システム。

【請求項15】 データ記録のための複数個のトラックを有する磁気記憶媒体と、この磁気記憶媒体上にデータを記憶させるための磁気記録システムと、請求項14記載の磁気抵抗検出システムと、この磁気抵抗検出システム及び前記磁気記録システムを前記磁気記憶媒体上の選択されたトラックへ移動させるために当該磁気抵抗検出システム及び磁気記録システムに結合されたアクチュエータ手段とを備えた磁気記憶システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、磁気記憶媒体に記

録した情報信号を読み取るための磁気抵抗効果素子、並びにこれを用いた磁気抵抗効果センサ、磁気抵抗検出システム及び磁気記憶システムに関する。

【0002】

【従来の技術】従来技術として、磁気抵抗 (MR) センサ又はMRヘッドと呼ばれる磁気読み取り変換器が知られている。これは、大きな線形密度で磁気記憶媒体表面からデータを読み取れることを特長としている。MRセンサは、読み取り素子によって感知される磁束の強さと方向の関数としての抵抗変化を介して磁界信号を検出する。こうした従来技術のMRセンサは、読み取り素子の抵抗の1成分が磁化方向と素子中を流れる感知電流の方向の間の角度の余弦の2乗に比例して変化する、異方性磁気抵抗 (AMR) 効果に基づいて動作する。AMR効果のより詳しい説明は、D. A. トムソン (Thompson) 等の論文 "Memory, Storage, and Related Applications" IEEE Trans. on Mag. MAG-11, p. 1039 (1975) に掲載されている。AMR効果を用いた磁気ヘッドではパルクハウゼンノイズを抑えるために縦バイアスを印加することが多いが、この縦バイアス印加材料としてFeMn、NiMn、ニッケル酸化物などの反強磁性材料を用いる場合がある。

【0003】さらに最近には、積層磁気センサの抵抗変化が、非磁性層を介する磁性層間での電導電子のスピン依存性伝送、及びそれに付随する層界面でのスピン依存性散乱に帰される、より顕著な磁気抵抗効果が報告されている。この磁気抵抗効果は、「巨大磁気抵抗効果」や「スピン・バルブ効果」など様々な名称で呼ばれている。このような磁気抵抗センサは、適当な材料でできおり、AMR効果を利用するセンサで観察されるよりも、感度が改善され、抵抗変化が大きい。この種のMRセンサでは、非磁性層で分離された1対の強磁性体層の間の平面内抵抗が、2つの層の磁化方向間の角度の余弦に比例して変化する。

【0004】特開平2-61572号公報には、磁性層内の磁化の反平行整列によって生じる高いMR変化をもたらす積層磁性構造が記載されている。積層構造で使用可能な材料として、上記公報には強磁性の遷移金属及び合金が挙げられている。また、中間層により分離している少なくとも二層の強磁性層の一方に反強磁性層を付加した構造、及び反強磁性層としてFeMnが適当であることが開示されている。

【0005】特開平4-358310号公報には、非磁性金属体の薄膜層によって仕切られた強磁性体の二層の薄膜層を有し、印加磁界が零である場合に2つの強磁性薄膜層の磁化方向が直交し、2つの非結合強磁性体層間の抵抗が2つの層の磁化方向間の角度の余弦に比例して変化し、センサ中を通る電流の方向とは独立な、MRセンサが開示されている。

【0006】特開平6-203340号公報には、非磁性金属材料の薄膜層で分離された2つの強磁性体の薄膜層を含み、外部印加磁界がゼロのとき、隣接する反強磁性体層の磁化が他方の強磁性体層に対して垂直に保たれる、上記の効果に基づくMRセンサが開示されている。

【0007】特開平7-262529号公報には、第1磁性層/非磁性層/第2磁性層/反強磁性層の構成を有するスピンバルブであつて、特に第1及び第2磁性層にCoZrNb、CoZrMo、FeSiAl、FeSi、NiFe又はこれにCr、Mn、Pt、Ni、Cu、Ag、Al、Ti、Fe、Co、Znを添加した材料を用いた磁気抵抗効果素子が開示されている。

【0008】基板上に非磁性層を介して積層した複数の磁性薄膜からなり、非磁性薄膜を介して隣り合う一方の軟磁性薄膜に反強磁性薄膜が隣接して設けてあり、この反強磁性薄膜のバイアス磁界を H_r 、他方の軟磁性薄膜の保磁力を H_{c2} としたときに、 $H_{c2} < H_r$ である磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性体がNiO、CoO、FeO、Fe₂O₃、MnO、Crの少なくとも1種又はこれらの混合物からなることを特徴とする磁気抵抗効果膜が特開平7-202292号公報に開示されている。また、前述の磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性体がNiO、Ni_xCo_{1-x}O、CoOから選ばれる少なくとも2種からなる超格子であることを特徴とする磁気抵抗効果膜が、特願平6-214837号公報及び特願平6-269524号公報に開示されている。また、前述の磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性体がNiO、Ni_xCo_{1-x}O = (x=0.1~0.9)、CoOから選ばれる少なくとも2種からなる超格子であり、この超格子中のNiのCoに対する原子数費が1.0以上であることを特徴とする磁気抵抗効果膜が、特願平7-11354号公報に開示されている。また、前述の磁気抵抗効果膜において、前記反強磁性体がNiO上にCoOを10から40オングストローム積層した二層膜であることを特徴とする磁気抵抗効果膜が、特願平7-136670号公報に開示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】従来技術において、磁性層/非磁性層/磁性層/反強磁性層/、又は/反強磁性層/磁性層/非磁性層/磁性層/という基本構成をもつ磁気抵抗効果素子は、200℃以上でのアニールにより構成の最上層が酸化することにより、交換結合磁界 H_{ex} や磁気抵抗変化率 (MR比) が低下していた。このタイプの磁気抵抗効果素子では、反強磁性層から固定磁性層へ印加される交換結合磁界を得るために、200℃以上の温度での熱処理が必要なものが多く、この工程で酸化が起こり特性が劣化していた。また、熱処理を必要としないタイプの反強磁性層を用いた場合においても、記録再生ヘッドを実際に製造する段階では書き込みヘッド部のレジスト硬化工程が不可欠であり、この工程

に200℃以上の温度での熱処理が必要になるので、実ヘッドに加工した段階での磁気抵抗効果膜の酸化が起っていた。

【0010】また、保護層として金属を用いた場合、膜厚が厚いときは、金属の有する導電性のために、磁気抵抗変化に寄与しない保護層に多くのセンス電流が流れてしまい、結果としてセンサーの出力が低下するという問題があった。また、膜厚が薄いときは、金属層を通して磁気抵抗効果部にまで酸化が到達することにより、保護層としての役目を果たさなくなってしまう。

【0011】本発明の目的は、磁気抵抗効果素子の最上層に適切な保護層を設けることにより、記録再生ヘッド製造時の加熱工程における磁気抵抗効果素子の酸化を防ぎ、十分な抵抗変化率、反強磁性層から固定磁性層へ印加される十分大きな交換結合磁界、及びフリー磁性層の十分小さな保磁力を確保した上で、信頼性に優れる、磁気抵抗効果素子並びにこれを用いた磁気抵抗効果センサ、磁気抵抗検出システム及び磁気記憶システムを提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】／磁性層／非磁性層／磁性層／反強磁性層／、又は／反強磁性層／磁性層／非磁性層／磁性層／のユニットからなる多層膜を形成させた基本構成をもつ磁気抵抗効果素子において、磁気抵抗効果素子上に形成される保護層に、2nm以上7nm以下の膜厚の、金属、酸化物、窒化物、酸化物と窒化物の混合物、金属／酸化物の二層膜、金属／窒化物の二層膜、又は金属／（酸化物と窒化物との混合物）の二層膜を用いる。

【0013】金属を保護層に用いた場合は保護層は導電性となるので、保護層膜厚が厚い場合はセンス電流のうち保護層に分流する割合が増える。保護層を流れる電流は磁気抵抗変化には寄与しないので、素子としての磁気抵抗変化率が減少し、ヘッドの出力が減少する。保護層の膜厚が薄い場合は、保護層を流れる電流はそれ程多くないので、保護層への分流による出力減少は少ない。その反面、膜厚が薄いと、保護層として磁気抵抗素子を酸化から保護する効果が弱くなる。したがって、金属保護層の膜厚には最適な領域が存在する。

【0014】酸化物や窒化物は、一般に実質的に非導電性であるので、膜厚が厚い場合にも金属系保護層の場合のように、磁気抵抗変化に寄与しない保護層にセンス電流が分流することによる磁気抵抗変化率の減少は起こらない。そのため、膜厚を厚く設定できるので、記録再生ヘッド製造中の高温工程において、有効に酸素の磁気抵抗効果素子への進入を防ぐことができ、最終的に大きなHex、大きなMR比、及び小さなフリー磁性層のHcを得ることができる。

【0015】ただし、酸化物や窒化物は、／磁性層／非磁性層／磁性層／反強磁性層／、又は／反強磁性層／磁

性層／非磁性層／磁性層／のユニットを構成する要素と界面において原子レベルでの、馴染みが悪く、そのために高温プロセス後にわずかな特性の劣化が生じる場合がある。この場合は、上記ユニットと酸化物又は窒化物との間に上記ユニットと酸化物又は窒化物との双方と原子レベルでの馴染みの良い金属を挿入することにより、高温プロセス後においてもより良い特性を得ることができる。

【0016】以上により、磁気抵抗効果素子として、並びにこれを用いた磁気抵抗効果センサ、磁気抵抗検出システム及び磁気記憶システムとして、出力値、出力波形、及びビットエラーレートにおいて良好な特性が得られるとともに、熱的な信頼性においても良好な特性を得ることができるのである。

【0017】

【発明の実施の形態】本発明を適用したシールド型の磁気抵抗効果センサとしては、図1及び図2のに示す構造のものを用いることができる。

【0018】図1の磁気抵抗効果センサでは、基板1上に下シールド層2、下ギャップ層3、磁気抵抗効果素子6を積層させる。その上にギャップ規定絶縁層7を積層させることもある。下シールド層2は適当な大きさにフォトリソスト(PR)工程によりパターン化されることが多い。磁気抵抗効果素子6はPR工程により適当な大きさ形状にパターン化されており、その端部に接するように縦バイアス層4及び下電極層5が順次積層されている。その上に上ギャップ層8及び上シールド層9が順次積層されている。

【0019】図2の磁気抵抗効果センサでは、基板11上に下シールド層12、下ギャップ層13、磁気抵抗効果素子16を積層させる。下シールド層12は適当な大きさにPR工程によりパターン化されることが多い。磁気抵抗効果素子16はPR工程により適当な大きさ形状にパターン化されており、その上部に一部重なるように縦バイアス層14及び下電極層15が順次積層されている。その上に上ギャップ層18及び上シールド層19が順次積層されている。

【0020】図1及び図2のタイプの、下シールド層としては、NiFe、CoZr、CoFeB、CoZrMo、CoZrNb、CoZr、CoZrTa、CoHf、CoTa、CoTaHf、CoNbHf、CoZrNb、CoHfPd、CoTaZrNb、CoZrMoNi合金、FeAlSi、窒化鉄系材料等を用いることができ、その膜厚は0.3~10μmの範囲で適用可能である。下ギャップ層は、アルミナ、SiO₂、窒化アルミニウム、窒化シリコン、ダイヤモンドライクカーボン等が適用可能であり、0.01~0.20μm範囲での使用が望ましい。下電極層としては、Zr、Ta、Moからなる単体又は合金又は混合物が望ましく、膜厚範囲は0.01~0.10μmがよい。縦バイアス層とし

ては、CoCrPt、CoCr、CoPt、CoCrTa、FeMn、NiMn、IrMn、PtPdMn、ReMn、PtMn、CrMn、Ni酸化物、鉄酸化物、Ni酸化物とCo酸化物の混合物、Ni酸化物とFe酸化物の混合物、Ni酸化物/Co酸化物二層膜、Ni酸化物/Fe酸化物二層膜等を用いることができる。ギャップ規定絶縁層としては、アルミナ、SiO₂、窒化アルミニウム、窒化シリコン、ダイヤモンドライクカーボン等が適用可能であり、0.005~0.05 μ m範囲での使用が望ましい。上ギャップ層は、アルミナ、SiO₂、窒化アルミニウム、窒化シリコン、ダイヤモンドライクカーボン等が適用可能であり、0.01~0.20 μ m範囲での使用が望ましい。上シールド層には、NiFe、CoZr、又はCoFeB、CoZrMo、CoZrNb、CoZr、CoZrTa、CoHf、CoTa、CoTaHf、CoNbHf、CoZrNb、CoHfPd、CoTaZrNb、CoZrMoNi合金、FeAlSi、窒化鉄系材料等を用いることができ、その膜厚は0.3~10 μ mの範囲で適用可能である。

【0021】これらのシールド型の磁気抵抗効果センサは、インダクティブコイルによる書き込みヘッド部を形成することにより、記録再生一体型ヘッドとして用いることができるようになる。図3は記録再生ヘッドの概念図である。記録再生ヘッドは、本発明の磁気抵抗効果センサを用いた再生ヘッドと、インダクティブ型の記録ヘッドとからなる。ここでは長手磁気記録用の記録ヘッドとの搭載例を示したが、本発明の磁気抵抗効果素子を垂直磁気記録用ヘッドと組み合わせ、垂直記録に用いてもよい。

【0022】記録再生ヘッドは、基体50上に下部シールド膜82、磁気抵抗効果素子45及び電極40、上部シールド膜81からなる再生ヘッドと、下部磁性膜84、コイル41、上部磁性膜84からなる記録ヘッドとを形成してなる。この際、上部シールド膜81と下部磁性膜84とを共通にしてもかまわない。この記録再生ヘッドにより、記録媒体上に信号を書き込み、また、記録媒体から信号を読み取るのである。再生ヘッドの感知部分と、記録ヘッドの磁気ギャップはこのように同一スライダ上に重ねた位置に形成することで、同一トラックに同時に位置決めができる。この記録再生ヘッドをスライダに加工し、磁気記録再生装置に搭載した。

【0023】図4は本発明の磁気抵抗効果素子を用いた磁気記録再生装置の概念図である。ヘッドスライダ90を兼ねる基板50上に磁気抵抗効果素子45及び電極膜40を形成し、これを磁気記録媒体91上に位置決めして再生を行う。磁気記録媒体91は回転し、ヘッドスライダ90は磁気記録媒体91の上を、0.2 μ m以下の高さ、又は接触状態で対向して相対運動する。この機構により、磁気抵抗効果素子45は磁気記録媒体91

に記録された磁気的信号を、その漏れ磁界から読み取ることのできる位置に設定されるのである。

【0024】図5乃至図12は本発明に係る磁気抵抗効果素子の膜構成の概念図である。図5の磁気抵抗効果素子は、基体100上に、下地層101、第1フリー磁性層102、非磁性層104、MRエンハンス層105、固定磁性層106、反強磁性層107及び保護層108を順次積層した構造である。図6の磁気抵抗効果素子は、基体100上に、下地層101、第1フリー磁性層102、第2フリー磁性層103、非磁性層104、MRエンハンス層105、固定磁性層106、反強磁性層107及び保護層108を順次積層した構造である。図7の磁気抵抗効果素子は、基体100上に、下地層101、第1フリー磁性層102、非磁性層104、固定磁性層106、反強磁性層107及び保護層108を順次積層した構造である。図8の磁気抵抗効果素子は、基体100上に、下地層101、第1フリー磁性層102、第2フリー磁性層103、非磁性層104、固定磁性層106、反強磁性層107及び保護層108を順次積層した構造である。図9の磁気抵抗効果素子は、基体100上に、下地層101、反強磁性層107、固定磁性層106、MRエンハンス層105、非磁性層104、第1フリー磁性層102及び保護層108を順次積層した構造である。図10の磁気抵抗効果素子は、基体100上に、下地層101、反強磁性層107、固定磁性層106、MRエンハンス層105、非磁性層104、第2フリー磁性層103、第1フリー磁性層102及び保護層108を順次積層した構造である。図11の磁気抵抗効果素子は、基体100上に、下地層101、反強磁性層107、固定磁性層106、非磁性層104、第1フリー磁性層102及び保護層108を順次積層した構造である。図12の磁気抵抗効果素子は、基体100上に、下地層101、反強磁性層107、固定磁性層106、非磁性層104、第2フリー磁性層103、第1フリー磁性層102及び保護層108を順次積層した構造である。

【0025】下地層としては、2種以上の金属、具体的には、Ta、Hf、Zr、W、Cr、Ti、Mo、Pt、Ni、Ir、Cu、Ag、Co、Zn、Ru、Rh、Re、Au、Os、Pd、Nb、V等からなる多層膜を用いる。例えば、0.2~6.0nmのTa、0.2~1.5nmのHf、又は0.2~2.5nmのZrを用いる。第1フリー磁性層及び第2フリー磁性層としては、NiFe、CoFe、NiFeCo、FeCo、CoFeB、CoZrMo、CoZrNb、CoZr、CoZrTa、CoHf、CoTa、CoTaHf、CoNbHf、CoZrNb、CoHfPd、CoTaZrNb、CoZrMoNi合金又はアモルファス磁性材料を用いることができる。膜厚は1~10nm程度が適当であり、望ましくは、0.1~5nm程度が適当であ

る。非磁性層としてはCu、Cuに1~20at%程度のAgを添加した材料、Cuに1~20at%程度のReを添加した材料、Cu-Au合金を用いることができる。膜厚は2~4nmが望ましい。MRエンハンス層としてはCo、NiFeCo、FeCo等、又はCoFeB、CoZrMo、CoZrNb、CoZr、CoZrTa、CoHf、CoTa、CoTaHf、CoNbHf、CoZrNb、CoHfPd、CoTaZrNb、CoZrMoNi合金又はアモルファス磁性材料を用いる。膜厚は0.5~5nm程度が望ましい。MRエンハンス層を用いない場合は、用いた場合に比べて若干MR比が低下するが、用いない分だけ作製に要する工程数は低減する。固定磁性層としては、Co、Ni、Feをベースにするグループからなる単体、合金、又は積層膜を用いる。膜厚は1~50nm程度が望ましい。反強磁性層としては、FeMn、NiMn、IrMn、PtPdMn、ReMn、PtMn、CrMn、Ni酸化物、Fe酸化物、Ni酸化物とCo酸化物の混合物、Ni酸化物とFe酸化物の混合物、Ni酸化物/Co酸化物二層膜、Ni酸化物/Fe酸化物二層膜などを用いることができる。

【0026】保護層としては、金属、酸化物、窒化物、酸化物と窒化物の混合物、金属/酸化物の二層膜、金属/窒化物の二層膜、又は金属/(酸化物と窒化物との混合物)の二層膜を用いる。一層のみの金属としては、Ti、V、Cr、Co、Cu、Zn、Y、Zr、Nb、Mo、Tc、Ru、Rh、Pd、Ag、Hf、Ta、W、Re、Os、Ir、Pt及びAuからなる群から選ばれた単体又は二以上の合金が好ましい。酸化物及び窒化物としては、Si、Al、Ti又はTaの酸化物及び窒化物が好ましい。二層膜における金属としては、Ta、Hf、Zr、W、Cr、Ti、Mo、Pt、Ni、Ir、Cu、Ag、Co、Zn、Ru、Re、Au、Os、Pd、Nb、V及びYからなる群から選ばれた単体又は二以上の合金が好ましい。

【0027】

【実施例】本発明の磁気抵抗効果素子と比較するために、図5の構成の磁気抵抗効果素子において、保護層を用いない場合の諸特性を調べた。

【0028】基体100に厚さ1.1mmのコーニング7059ガラス基板、下地層101に3.0nmのTa、第1フリー磁性層102に8.0nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、スパッタにより成膜する際のターゲット組成であり膜組成とは異なる。以下の元素についても同じ。)、非磁性層104に2.8nmのCu、MRエンハンス層105に0.4nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、固定磁性層106に2.6nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、反強磁性層107に20nmのFe₅₀Mn₅₀(at%)を用いた。反強磁性層にFeMnを用いた場合は、熱処理無しでも反強磁性層から固定磁性層へ

交換結合磁界が印加されるので、成膜後の熱処理は行っていない。その結果、フリー磁性層の保磁力1.0Oe、反強磁性層から固定磁性層へ印加される交換結合磁界Hex520Oe、MR比5.2%が得られた。この磁気抵抗効果素子に対し、270℃、5時間の熱処理を行った。その結果、Hexは520Oeから280Oeに低下し、またMR比は5.2%から2.8%に低下した。MR比の低下はCu層と磁性層との界面の状態がアニールにより変化したことも関係していると考えられるが、Hexの低下はFeMn層の酸化によるものである。

【0029】基体100に厚さ1.1mmのコーニング7059ガラス基板、下地層101に3.0nmのTa、第1フリー磁性層102に8.0nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、非磁性層104に2.8nmのCu、MRエンハンス層105に0.4nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、固定磁性層106に2.6nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、反強磁性層107に種々の材料を用いた。反強磁性層から固定磁性層に交換結合力が印加されるようにするために、成膜後に3×10⁻⁶torrの真空中において、図13に示すそれぞれの温度で、5時間の熱処理を施した。その結果得られた諸特性を図13に示す。諸特性を、前述のFeMnを反強磁性層に用いた場合の熱処理前の特性と比較すると、フリー磁性層のHcはそれ程変わらないものの、MR比及びHexが低くなっていることがわかる。MR比が低いのは、Cu層と磁性層との界面の状態が熱処理により変化したことも関係していると考えられるが、Hexの低下は反強磁性層の酸化によるものと思われる。

【0030】次に、本発明の磁気抵抗効果素子の諸特性について述べる。

【0031】図5の構成の磁気抵抗効果素子において、基体100に厚さ1.1mmのコーニング7059ガラス基板、下地層101に3.0nmのTa、第1フリー磁性層102に8.0nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、非磁性層104に2.8nmのCu、MRエンハンス層105に0.4nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、固定磁性層106に2.6nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、反強磁性層107に20nmのNi₄₀Mn₆₀を用い、保護層108には図14乃至図16に示す種々の膜厚の種々の金属材料を用いた。反強磁性層から固定磁性層に交換結合磁界が印加されるようにするために、成膜後に2×10⁻⁶Torrの真空中において、270℃、5時間の熱処理を施した。このときの諸特性を図14乃至図16に示す。各項目において1列目がフリー磁性層のHc(Oe)、2列目がMR比(%)、3列目がHex(Oe)を示す。保護層がいずれの材料、いずれの膜厚の場合においても、フリー磁性層のHcはほぼ一定であった。MR比はいずれの材料においても保護層膜厚の上昇にともない減少した。膜厚が7nmを越えるとMR比は

おおむね急激に低下し、MR比という観点から保護層の膜厚は7nm以下が適当であることがわかる。Hexは保護層膜厚の上昇にともない単調に増加した。保護層膜厚が2nm以上で比較的高い値が得られており、Hexという観点からは2nm以上が適当であることがわかる。フリー磁性層のHc、MR比及びHexのいずれもが良好な保護層の膜厚範囲は、2nm以上かつ7nm以下であることが理解される。

【0032】図5の構成の磁気抵抗効果素子において、基体100に厚さ1.1mmのコーニング7059ガラス基板、下地層101に3.0nmのTa、第1フリー磁性層102に8.0nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、非磁性層104に2.8nmのCu、MRエンハンス層105に4.0nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、固定磁性層106に2.6nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、反強磁性層107に20nmのNi₄₆Mn₅₄を用い、保護層108には図17に示す種々の材料(膜厚は50nm)を用いた。反強磁性層から固定磁性層に交換結合磁界が印加されるようにするために、成膜後に 2×10^{-6} Torrの真空中において、270℃、5時間の熱処理を施した。このときの諸特性を図17に示す。

【0033】図5の構成の磁気抵抗効果素子において、基体100に厚さ1.1mmのコーニング7059ガラス基板、下地層101に3.0nmのTa、第1フリー磁性層102に8.0nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、非磁性層104に2.8nmのCu、MRエンハンス層105に0.4nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、固定磁性層106に2.6nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、反強磁性層107に20nmのNi₄₆Mn₅₄を用い、保護層108には図18に示す各金属保護層(3nm)とAl酸化物保護層(50nm)との積層二層膜を用いた。金属保護層がNiMn層と接するように用いてある。反強磁性層から固定磁性層に交換結合磁界が印加されるようにするために、成膜後に 2×10^{-6} Torrの真空中において、270℃、5時間の熱処理を施した。このときの諸特性を図18に示す。保護層がAl酸化物単層の場合と比較して、フリー磁性層Hc及びMR比はほとんど変化が無いが、Hexはほとんどの材料において大きくなった。

【0034】図5の構成の磁気抵抗効果素子において、基体100に厚さ1.1mmのコーニング7059ガラス基板、下地層101に3.0nmのTa、第1フリー磁性層102に8.0nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、非磁性層104に2.8nmのCu、MRエンハンス層105に0.4nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、固定磁性層106に2.6nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、反強磁性層107に20nmのNi₄₅Mn₅₅を用い、保護層108にはTa保護層(3nm)と図19に示す非金属保護層(50nm)との積層二層膜を用いた。Ta保護層がNiMn層と接するように用いてある。反強磁性

層から固定磁性層に交換結合磁界が印加されるようにするために、成膜後に 2×10^{-6} Torrの真空中において、270℃、5時間の熱処理を施した。このときの諸特性を図19に示す。

【0035】図5の構成の磁気抵抗効果素子において、基体100に厚さ1.1mmのコーニング7059ガラス基板、下地層101に3.0nmのTa、第1フリー磁性層102に8.0nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、非磁性層104に2.8nmのCu、MRエンハンス層105に0.4nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、固定磁性層106に2.6nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、反強磁性層107に20nmのNi₄₆Mn₅₄を用い、保護層108にはTa保護層(3nm)とAl酸化物保護層(Xnm)との積層二層膜を用いた。Ta保護層がNiMn層と接するように用いてある。反強磁性層から固定磁性層に交換結合磁界が印加されるようにするために、成膜後に 2×10^{-6} Torrの真空中において、270℃、5時間の熱処理を施した。Al酸化層膜厚を変えたときの諸特性を図20に示す。フリー磁性層のHcはAl酸化物層の膜厚によらずほぼ一定であるが、MR比及びHexは、膜厚の上昇にともない増大し、膜厚が30nm以上で一定になった。

【0036】図5の構成の磁気抵抗効果素子において、基体100に厚さ1.1mmのコーニング7059ガラス基板、下地層101に3.0nmのTa、第1フリー磁性層102に8.0nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、非磁性層104に2.8nmのCu、MRエンハンス層105に0.4nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、固定磁性層106に2.6nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、反強磁性層107に20nmのNi₄₆Mn₅₄を用い、保護層108にはTa保護層(Xnm)とAl酸化物保護層(50nm)との積層二層膜を用いた。Ta保護層がNiMn層と接するように用いてある。反強磁性層から固定磁性層に交換結合磁界が印加されるようにするために、成膜後に 2×10^{-6} Torrの真空中において、270℃、5時間の熱処理を施した。Ta層膜厚を変えたときの諸特性を図21に示す。フリー磁性層のHcはTa層の膜厚によらずほぼ一定であった。MR比は、Ta膜厚が5.0nmまではほぼ一定であるが、7.0nm以上では減少する傾向を示した。これは、Ta層への電流の分流によるものと思われる。Hexは、Ta層膜厚の上昇にともない増大し、2.0nm以上ではほぼ一定値になった。

【0037】図5の構成の磁気抵抗効果素子において、基体100に厚さ1.1mmのコーニング7059ガラス基板、下地層に3.0nmのTa、第1フリー磁性層102に8.0nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、非磁性層104に2.8nmのCu、MRエンハンス層105に0.4nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、固定磁性層106に2.6nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、反強磁性

層107に種々の材料を用いた。保護層108にはTa保護層(3nm)と非金属保護層(50nm)との積層二層膜を用いた。Ta保護層がNiMn層等(反強磁性層)と接するように用いてある。反強磁性層から固定磁性層に交換結合力が印加されるようにするために、成膜後に 3×10^{-6} torrの真空中において、図22に示すそれぞれの温度で、5時間の熱処理を施した。その結果得られた諸特性を図22に示す。いずれの反強磁性層の場合にも、保護層を用いなかった場合と比較してHexが改善されていることがわかる。フリー磁性層のHc及びMR比は保護層がない場合と比較して優位な変化は見られなかった。

【0038】図5乃至図12の構成の磁気抵抗効果素子において、基体100に厚さ1.1mmのコーニング7059ガラス基板、下地層に3.0nmのTa、第1フリー磁性層102に8.0nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、第2フリー磁性層103に1.0nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、非磁性層104に2.8nmのCu、MRエンハンス層105に0.4nmのCo₉₀Fe₁₀(at%)、固定磁性層106に2.6nmのNi₈₁Fe₁₉(at%)、反強磁性層107に20nmのNi₄₆Mn₅₄(at%)を用い、保護層108にはTa保護層(3nm)と非金属保護層(50nm)との積層二層膜を用いた。Ta保護層が保護膜を除く磁気抵抗効果膜の最上層(図5～8の構成ではNiMn層、図9～12の構成ではNiFe層)と接するように用いてある。反強磁性層から固定磁性層に交換結合力が印加されるようにするために、成膜後に 3×10^{-6} torrの真空中において、270℃、5時間の熱処理を施した。その結果得られた諸特性を図23に示す。いずれの構成の場合も十分大きなHexが確保されている。

【0039】次に、これらの磁気抵抗効果素子をシールド型の磁気抵抗効果センサに適用した例を示す。

【0040】本発明に係る磁気抵抗効果素子を用いて図1の磁気抵抗効果センサを製造した。このとき、下シールド層としてはNiFe、下ギャップ層としてはアルミナを用いた。磁気抵抗効果素子としてはTa(3nm)/Ni₈₂Fe₁₈(7nm)/Co₉₀Fe₁₀(1.0nm)/Cu(2.5nm)/Co₉₀Fe₁₀(1nm)/Ni₄₆Mn₅₄(20nm)/保護層、をPR工程により $1 \times 1 \mu\text{m}$ の大きさに加工して用いた。この磁気抵抗効果素子の端部に接するようにCoCrPtとMo下電極層を積層した。上ギャップ層としてはアルミナ、上シールド層としてはNiFeを用いた。この磁気抵抗効果センサを図3のような記録再生一体型ヘッドに加工及びスライダ加工し、CoCrTa系の磁気記録媒体上にデータを記録再生した。この際、書き込みトラック幅は1.5 μm 、書き込みギャップは0.2 μm 、読み込みトラック幅は1.0 μm 、読み込みギャップは0.21 μm とした。磁気記録媒体の保磁力は2.5kOeである。

記録マーク長を変えて再生出力を測定した。測定結果を図24乃至図26に示す。なお、図24乃至図26における試作番号と保護層との対応は図27に示す通りである。

【0041】次に、本発明に係る磁気抵抗効果素子を用いて図2の磁気抵抗効果センサを製造した。このとき、下シールド層としてはFeTa₂N、下ギャップ層としてはアモルファスカーボン、磁気抵抗効果素子としては図5の構成を用いた。磁気抵抗効果素子は、Ta(3nm)/Ni₈₂Fe₁₈(7nm)/Co₉₀Fe₁₀(1.0nm)/Cu(2.5nm)/Co₉₀Fe₁₀(1nm)/Ni₄₆Mn₅₄(20nm)/保護層を、PR工程により $1 \times 1 \mu\text{m}$ の大きさに加工して用いた。この磁気抵抗効果素子に一部重なるようにCoCrPtとMo下電極層を積層した。上ギャップ層としてはアルミナ、上シールド層としてはNiFeを用いた。この磁気抵抗効果センサを図3のような記録再生一体型ヘッドに加工及びスライダ加工し、CoCrTa系の磁気記録媒体上にデータを記録再生した。この際、書き込みトラック幅は1.5 μm 、書き込みギャップは0.2 μm 、読み込みトラック幅は1.0 μm 、読み込みギャップは0.21 μm とした。磁気記録媒体の保磁力は2.5kOeである。記録マーク長を変えて再生出力を測定した。測定結果を図28乃至図30に示す。なお、図28乃至図30における試作番号と保護層との対応は図27に示す通りである。

【0042】次に本発明を適用して作製された磁気ディスク装置の説明をする。磁気ディスク装置はベース上に3枚の磁気ディスクを備え、ベース裏面にヘッド駆動回路及び信号処理回路と入出力インターフェイスとを収めている。外部とは32ビットのバスラインで接続される。磁気ディスクの両面には6個のヘッドが配置されている。ヘッドを駆動するためのロータリーアクチュエータとその駆動及び制御回路、ディスク回転用スピンドル直結モータが搭載されている。ディスクの直径は46mmであり、データ面は直径10mmから40mmまでを使用する。埋め込みサーボ方式を用い、サーボ面を有しないため高密度化が可能である。本装置は、小型コンピュータの外部記憶装置として直接接続が可能になっている。入出力インターフェイスには、キャッシュメモリを搭載し、転送速度が毎秒5から20メガバイトの範囲であるバスラインに対応する。また、外部コントローラを置き、本装置を複数台接続することにより、大容量の磁気ディスク装置を構成することも可能である。

【0043】

【発明の効果】本発明によれば、磁気抵抗効果素子の最上層に適切な保護層を設けることにより、記録再生ヘッド製造時の加熱工程における磁気抵抗効果素子の酸化を防止できる。したがって、十分な抵抗変化率、反強磁性層から固定磁性層へ印加される十分大きな交換結合磁

界、及びフリー磁性層の十分小さな保磁力を確保した上で信頼性に優れる、磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果センサ、磁気抵抗検出システム、及び磁気記憶システムを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気抵抗効果センサの構成を示す概念図である。

【図 2】本発明に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気抵抗効果センサの構成を示す概念図である。

【図 3】本発明に係る磁気抵抗効果素子を用いた記録再生ヘッドを示す概念図である。

【図 4】本発明に係る磁気抵抗効果素子を用いた磁気記録再生装置の概念図である。

【図 5】本発明に係る磁気抵抗効果素子を示す断面図である。

【図 6】本発明に係る磁気抵抗効果素子を示す断面図である。

【図 7】本発明に係る磁気抵抗効果素子を示す断面図である。

【図 8】本発明に係る磁気抵抗効果素子を示す断面図である。

【図 9】本発明に係る磁気抵抗効果素子を示す断面図である。

【図 10】本発明に係る磁気抵抗効果素子を示す断面図である。

【図 11】本発明に係る磁気抵抗効果素子を示す断面図である。

【図 12】本発明に係る磁気抵抗効果素子を示す断面図である。

【図 13】従来の磁気抵抗効果素子における、反強磁性層の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 14】本発明に係る磁気抵抗効果素子における、保護層の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 15】本発明に係る磁気抵抗効果素子における、保護層の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 16】本発明に係る磁気抵抗効果素子における、保護層の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 17】本発明に係る磁気抵抗効果素子における、保護層の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 18】本発明に係る磁気抵抗効果素子における、保護層の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 19】本発明に係る磁気抵抗効果素子における、保護層の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 20】本発明に係る磁気抵抗効果素子における、保護層の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 21】本発明に係る磁気抵抗効果素子における、保護層の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 22】本発明に係る磁気抵抗効果素子における、反

強磁性層の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 23】本発明に係る磁気抵抗効果素子における、図 5 乃至図 12 の構成に対する諸特性を示す図表である。

【図 24】図 1 の磁気抵抗効果センサにおける、磁気抵抗効果素子の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 25】図 1 の磁気抵抗効果センサにおける、磁気抵抗効果素子の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 26】図 1 の磁気抵抗効果センサにおける、磁気抵抗効果素子の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 27】図 24 乃至図 26 及び図 28 乃至図 30 における、試作番号と保護層との対応を示す図表である。

【図 28】図 2 の磁気抵抗効果センサにおける、磁気抵抗効果素子の種類に対する諸特性を示す図表である。

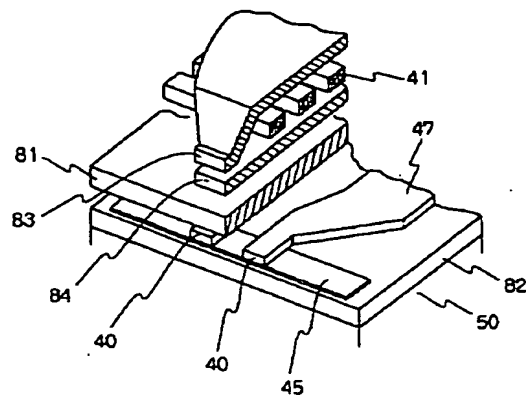
【図 29】図 2 の磁気抵抗効果センサにおける、磁気抵抗効果素子の種類に対する諸特性を示す図表である。

【図 30】図 2 の磁気抵抗効果センサにおける、磁気抵抗効果素子の種類に対する諸特性を示す図表である。

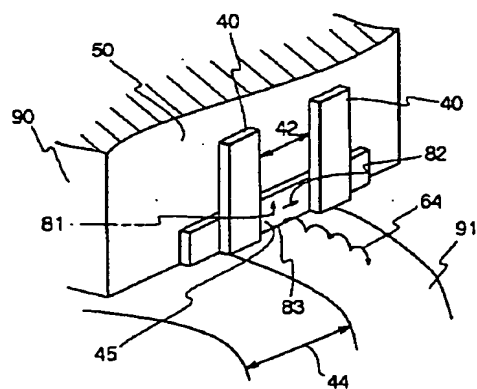
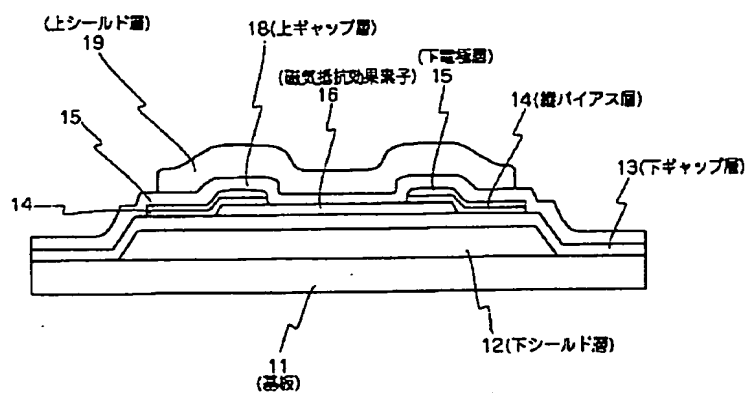
【符号の説明】

- 1, 11 基板
- 2, 12 下シールド層
- 3, 13 下ギャップ層
- 4, 14 縦バイアス層
- 5, 15 下電極層
- 6, 16 磁気抵抗効果素子
- 7 ギャップ規定絶縁層
- 8, 18 上ギャップ層
- 9, 19 上シールド層
- 40 電極膜
- 41 コイル
- 42 磁気抵抗効果素子幅
- 44 記録トラック幅
- 45 磁気抵抗効果素子
- 50 基板
- 64 媒体からの漏れ磁界
- 81 固定磁性層磁化
- 82 フリー磁性層磁化
- 83 ABS 面
- 90 ヘッドスライダ
- 91 磁気記録媒体
- 100 基体
- 101 下地層
- 102 第 1 フリー磁性層
- 103 第 2 フリー磁性層
- 104 非磁性層
- 105 MR エンハンス層
- 106 固定磁性層
- 107 反強磁性層
- 108 保護層

【图 3】

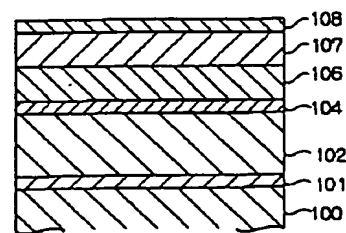
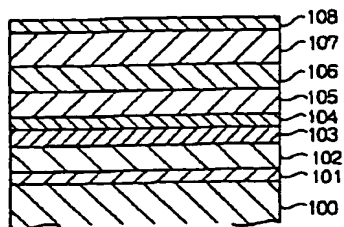
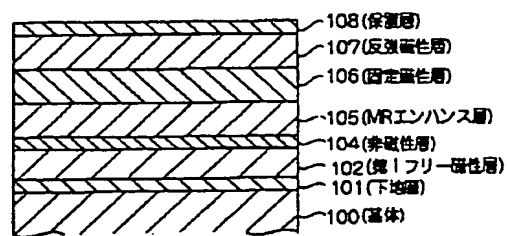


【图 4】



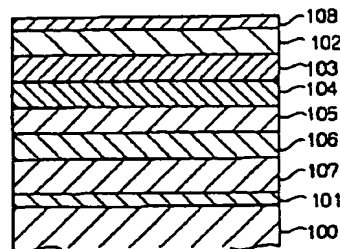
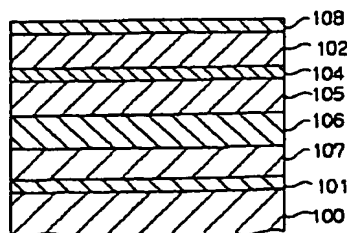
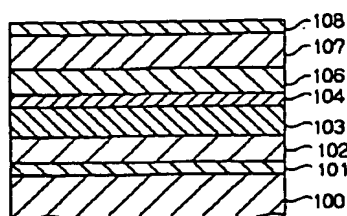
【图 7】

【図 6】

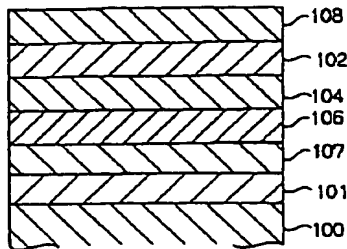


【图9】

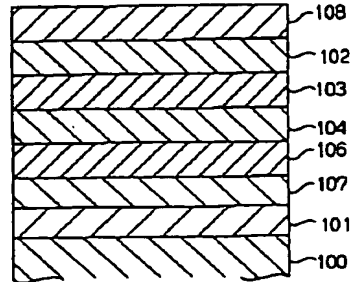
【図 10】



【図11】



【図12】



【図13】

| 反強磁性層 組成および 厚さ (nm) | 熱処理 温度 (℃) | フリー層 Hc (Oe) | MR比 (%) | H _{ex} (Oe) |
|---------------------------|------------------|--------------------|------------|-------------------------|
| NiMn 20 | 270 | 1.0 | 2.7 | 270 |
| NiMnCr 20 | 270 | 1.2 | 2.6 | 250 |
| PtMn 18 | 250 | 0.9 | 3.8 | 340 |
| IrMn 17 | 230 | 0.8 | 4.2 | 380 |
| PlPdMn 25 | 230 | 0.7 | 4.3 | 370 |
| RbMn 18 | 230 | 0.7 | 4.1 | 390 |

【図17】

| 保護層の 種類 | フリー層 Hc (Oe) | MR比 (%) | H _{ex} (Oe) |
|--|--------------------|------------|-------------------------|
| Si酸化物 | 1.0 | 3.0 | 520 |
| Sr酸化物 | 1.0 | 2.9 | 530 |
| Al酸化物 | 0.9 | 3.1 | 520 |
| Al ₂ O ₃ 酸化物 | 0.9 | 3.1 | 540 |
| Ta酸化物 | 0.9 | 3.0 | 550 |
| Ti酸化物 | 0.9 | 2.9 | 540 |
| Si酸化物/Al ₂ O ₃ 酸化物との 混合物 | 1.0 | 3.2 | 520 |
| Si酸化物とAl ₂ O ₃ 酸化物との 混合物 | 0.9 | 3.1 | 530 |
| Si酸化物とSr酸化物と Al ₂ O ₃ 酸化物とAl ₂ O ₃ 酸化物との 混合物 | 0.9 | 3.2 | 510 |

【図18】

| 金属保護層の 種類 | フリー層 Hc (Oe) | MR比 (%) | H _{ex} (Oe) |
|--------------|--------------------|------------|-------------------------|
| Ta | 1.0 | 3.0 | 620 |
| Hf | 0.9 | 3.2 | 650 |
| Zr | 0.9 | 3.1 | 590 |
| W | 1.0 | 3.2 | 620 |
| Cr | 1.1 | 3.0 | 560 |
| Ti | 0.8 | 2.9 | 660 |
| Mo | 0.9 | 3.0 | 570 |
| Pt | 1.0 | 3.1 | 580 |
| Ni | 1.0 | 3.1 | 510 |
| Ir | 0.9 | 3.0 | 610 |
| Cu | 0.9 | 3.0 | 620 |
| Ag | 1.1 | 3.2 | 590 |
| Co | 1.0 | 3.0 | 520 |
| Zn | 1.2 | 3.1 | 530 |
| Ru | 0.9 | 3.0 | 690 |
| Rh | 0.9 | 2.9 | 620 |
| Re | 1.3 | 3.1 | 500 |
| Au | 1.0 | 3.2 | 570 |
| Os | 0.9 | 3.1 | 580 |
| Pd | 0.9 | 3.0 | 580 |
| Nb | 1.0 | 3.1 | 610 |
| V | 1.1 | 3.2 | 650 |
| Y | 0.9 | 3.1 | 640 |

【図20】

| Al ₂ O ₃ 膜厚 (nm) | フリー層 Hc (Oe) | MR比 (%) | H _{ex} (Oe) |
|---|--------------------|------------|-------------------------|
| 0 | 1.0 | 2.7 | 270 |
| 10 | 0.9 | 3.0 | 370 |
| 20 | 1.0 | 3.1 | 510 |
| 30 | 0.8 | 3.1 | 590 |
| 40 | 1.0 | 3.3 | 610 |
| 50 | 0.9 | 3.1 | 620 |
| 70 | 0.9 | 3.2 | 610 |
| 100 | 0.8 | 3.2 | 630 |

【図14】

| 膜厚 (nm) → | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 5.0 | 7.0 | 10.0 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 材料 ↓ | | | | | | |
| Ti | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.8 | 1.0 | 0.9 |
| | 2.8 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 1.9 |
| | 310 | 450 | 510 | 540 | 570 | 600 |
| V | 1.0 | 1.1 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.1 |
| | 2.9 | 2.9 | 2.7 | 2.6 | 2.4 | 1.8 |
| | 300 | 460 | 510 | 520 | 570 | 590 |
| Cr | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 1.0 |
| | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 2.5 | 2.5 | 1.7 |
| | 290 | 440 | 500 | 530 | 530 | 600 |
| Co | 1.1 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.0 |
| | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 2.4 | 1.9 |
| | 270 | 460 | 520 | 560 | 570 | 610 |
| Cu | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.0 |
| | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 1.6 |
| | 280 | 450 | 490 | 510 | 550 | 590 |
| Zn | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 |
| | 2.9 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.3 | 1.9 |
| | 300 | 420 | 490 | 550 | 580 | 600 |
| Y | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| | 3.1 | 3.0 | 3.0 | 2.7 | 2.6 | 1.8 |
| | 270 | 430 | 500 | 530 | 570 | 590 |
| Zr | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 1.0 |
| | 3.0 | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 2.5 | 1.6 |
| | 280 | 460 | 510 | 550 | 550 | 580 |

【図15】

| 膜厚 (nm) → | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 5.0 | 7.0 | 10.0 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 材料 ↓ | | | | | | |
| Nb | 0.8 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.1 |
| | 3.1 | 2.9 | 2.7 | 2.6 | 2.3 | 1.5 |
| | 250 | 440 | 500 | 510 | 580 | 590 |
| Mo | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 1.0 |
| | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 1.8 |
| | 270 | 430 | 510 | 520 | 540 | 570 |
| Tc | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 0.9 |
| | 3.0 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.4 | 1.7 |
| | 260 | 450 | 520 | 550 | 570 | 600 |
| Ru | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 0.9 | 1.0 | 0.8 |
| | 2.9 | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.5 | 1.7 |
| | 260 | 430 | 490 | 550 | 570 | 590 |
| Rh | 0.9 | 1.1 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 0.9 |
| | 2.8 | 2.7 | 2.7 | 2.5 | 2.5 | 1.6 |
| | 280 | 460 | 510 | 550 | 580 | 610 |
| Pd | 1.0 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| | 3.1 | 3.0 | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 1.9 |
| | 270 | 440 | 480 | 520 | 530 | 550 |
| Ag | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 0.9 | 1.0 |
| | 3.0 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.4 | 1.6 |
| | 290 | 450 | 480 | 510 | 540 | 570 |
| Hf | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 0.9 | 0.9 |
| | 3.1 | 3.0 | 2.9 | 2.7 | 2.6 | 2.0 |
| | 280 | 470 | 520 | 560 | 570 | 580 |

【図16】

| 膜厚 (nm) → 材料 ↓ | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 5.0 | 7.0 | 10.0 |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Ta | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 |
| | 2.9 | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 1.8 |
| | 270 | 440 | 490 | 530 | 560 | 600 |
| W | 1.1 | 1.1 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| | 3.0 | 2.8 | 2.8 | 2.6 | 2.6 | 1.9 |
| | 290 | 450 | 500 | 530 | 550 | 580 |
| Re | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| | 2.8 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.4 | 1.5 |
| | 270 | 280 | 360 | 440 | 510 | 550 |
| Os | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.0 |
| | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.5 | 1.7 |
| | 260 | 430 | 520 | 540 | 650 | 560 |
| Ir | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| | 3.0 | 3.0 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 1.8 |
| | 270 | 440 | 490 | 530 | 560 | 610 |
| Pt | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 | 1.1 | 0.9 |
| | 3.0 | 3.1 | 2.8 | 2.7 | 2.5 | 1.6 |
| | 310 | 510 | 560 | 570 | 590 | 610 |
| Au | 1.1 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.1 |
| | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 2.6 | 2.6 | 1.8 |
| | 300 | 490 | 550 | 570 | 610 | 600 |

【図19】

| 非金属材料の 種類 | フリー層 Hc (Oe) | MR比 (%) | H _{ex} (Oe) |
|--------------------------------------|--------------------|------------|-------------------------|
| Si酸化物 | 0.9 | 3.1 | 590 |
| Si酸化物 | 1.0 | 3.2 | 580 |
| Al酸化物 | 1.0 | 3.0 | 620 |
| Al酸化物 | 0.9 | 3.1 | 590 |
| Ta酸化物 | 0.9 | 3.2 | 620 |
| Ti酸化物 | 0.8 | 3.1 | 610 |
| Si酸化物・Al酸化物との 混合物 | 1.0 | 3.2 | 600 |
| Si酸化物とAl酸化物との 混合物 | 0.9 | 3.0 | 630 |
| Si酸化物とSi酸化物と Al酸化物とAl酸化物との 混合物 | 0.9 | 3.1 | 640 |

【図21】

| Ta層膜厚 (nm) | フリー層 Hc (Oe) | MR比 (%) | H _{ex} (Oe) |
|---------------|--------------------|------------|-------------------------|
| 0 | 0.9 | 3.0 | 520 |
| 0.4 | 1.0 | 3.1 | 570 |
| 1.0 | 0.9 | 3.2 | 610 |
| 2.0 | 0.9 | 3.0 | 630 |
| 3.0 | 0.9 | 3.1 | 620 |
| 5.0 | 1.0 | 3.0 | 630 |
| 7.0 | 0.9 | 2.9 | 610 |
| 10.0 | 0.9 | 2.8 | 590 |

【図22】

| 反磁性物質 組成および 膜厚 (nm) | 成膜 温度 (°C) | フリー層 Hc (Oe) | MR比 (%) | H _{ex} (Oe) |
|---------------------------|------------------|--------------------|------------|-------------------------|
| Ni/Mn 20 | 270 | 0.9 | 2.8 | 590 |
| Ni/Mn/Cr 20 | 270 | 1.0 | 2.9 | 580 |
| Pt/Mn 18 | 250 | 0.9 | 3.9 | 610 |
| Ir/Mn 17 | 230 | 0.9 | 4.4 | 590 |
| Pt/Pd/Mn 25 | 230 | 0.8 | 4.4 | 580 |
| Bh/Mn 18 | 230 | 1.0 | 4.2 | 590 |

【図23】

| 反磁性 | フリー層 Hc (Oe) | MR比 (%) | H _{ex} (Oe) |
|--------|--------------------|------------|-------------------------|
| 図5の構成 | 0.8 | 3.1 | 590 |
| 図6の構成 | 1.8 | 5.8 | 550 |
| 図7の構成 | 0.9 | 2.2 | 610 |
| 図8の構成 | 2.0 | 4.2 | 530 |
| 図9の構成 | 1.2 | 2.9 | 570 |
| 図10の構成 | 2.5 | 5.7 | 540 |
| 図11の構成 | 1.1 | 2.3 | 580 |
| 図12の構成 | 2.4 | 4.4 | 510 |

【図24】

| 試作番号 (注) | 001 | 002 | 003 | 004 | 005 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 再生出力が半減するマーク長 (周波数) (kFCI) | 154 | 152 | 153 | 154 | 153 |
| 再生出力 (peak to peak) (mV) | 1.6 | 1.7 | 1.5 | 1.7 | 1.7 |
| ノイズ | 無し | 無し | 無し | 無し | 無し |
| 波形対称性 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 |
| S/N (dB) | 27.0 | 27.1 | 27.3 | 27.4 | 27.2 |
| エラーレート | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 |
| 80℃, 5000e, 2500時間 環境試験後のエラーレートの変化 | なし | なし | なし | なし | なし |
| 電流密度 $2 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$, 環境温度80℃の通電試験, 1000時間まで抵抗値, および 抵抗変化率の変化 | なし | なし | なし | なし | なし |

【図25】

| 試作番号 (注) | 006 | 007 | 008 | 009 | 010 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 再生出力が半減するマーク長 (周波数) (kFCI) | 156 | 154 | 155 | 154 | 156 |
| 再生出力 (peak to peak) (mV) | 1.7 | 1.6 | 1.7 | 1.3 | 1.4 |
| ノイズ | 無し | 無し | 無し | 無し | 無し |
| 波形対称性 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 |
| S/N (dB) | 27.2 | 27.1 | 27.2 | 26.3 | 26.4 |
| エラーレート | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 |
| 80℃, 5000e, 2500時間 環境試験後のエラーレートの変化 | なし | なし | なし | なし | なし |
| 電流密度 $2 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$, 環境温度80℃の通電試験, 1000時間まで抵抗値, および 抵抗変化率の変化 | なし | なし | なし | なし | なし |

【図26】

| 試作番号 (注) | 011 | 012 | 013 | 014 | 015 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 再生出力が半減するマーク長 (周波数) (kFCI) | 157 | 155 | 154 | 155 | 156 |
| 再生出力 (peak to peak) (mV) | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.3 | 1.4 |
| ノイズ | 無し | 無し | 無し | 無し | 無し |
| 波形対称性 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 |
| S/N (dB) | 26.5 | 26.1 | 26.3 | 26.2 | 26.3 |
| エラーレート | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 |
| 80℃, 5000e, 2500時間 環境試験後のエラーレートの変化 | なし | なし | なし | なし | なし |
| 電流密度 $2 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$, 環境温度80℃の通電試験, 1000時間まで抵抗値 および 抵抗変化率の変化 | なし | なし | なし | なし | なし |

【図27】

| 試作番号 | 第1保護層 | 第2保護層 |
|------|---------------|------------------------|
| | (NiMnと換している例) | |
| 001 | Ta (3nm) | Al酸化物 (50nm) |
| 002 | Cu (2nm) | Al酸化物 (50nm) |
| 003 | Ta (3nm) | Al酸化物とSi酸化物の混合物 (50nm) |
| 004 | Ta (3nm) | Si窒化物 (50nm) |
| 005 | Hf (3nm) | Al酸化物 (50nm) |
| 006 | Zr (3nm) | Al酸化物 (50nm) |
| 007 | W (3nm) | Al酸化物 (50nm) |
| 008 | Y (3nm) | Al酸化物 (50nm) |
| 009 | なし | Al酸化物 (50nm) |
| 010 | なし | Si窒化物 (50nm) |
| 011 | なし | Ta (3nm) |
| 012 | なし | Zr (3nm) |
| 013 | なし | Hf (3nm) |
| 014 | なし | Au (3nm) |
| 015 | なし | Pt (3nm) |

【図28】

| 試作番号 (注) | 001 | 002 | 003 | 004 | 005 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 再生出力が半減するマーク長 (周波数) (kFCI) | 156 | 154 | 154 | 152 | 153 |
| 再生出力 (peak to peak) (mV) | 1.7 | 1.6 | 1.5 | 1.6 | 1.5 |
| ノイズ | 無し | 無し | 無し | 無し | 無し |
| 波形対称性 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 |
| S/N (dB) | 26.8 | 26.9 | 26.8 | 26.7 | 26.9 |
| エラーレート | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 |
| 80℃, 5000e, 2500時間 環境試験後のエラーレートの変化 | なし | なし | なし | なし | なし |
| 電流密度 $2 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$, 環境温度80℃の通電試験, 1000時間まで抵抗値, および 抵抗変化率の変化 | なし | なし | なし | なし | なし |

【図29】

| 試作番号 (注) | 006 | 007 | 008 | 009 | 010 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 再生出力が半減するマーク長 (周波数) (kFCI) | 154 | 156 | 157 | 155 | 157 |
| 再生出力 (peak to peak) (mV) | 1.8 | 1.7 | 1.8 | 1.2 | 1.1 |
| ノイズ | 無し | 無し | 無し | 無し | 無し |
| 波形対称性 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 |
| S/N (dB) | 26.9 | 26.9 | 27.0 | 26.4 | 26.2 |
| エラーレート | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 |
| 80℃, 5000e, 2500時間 環境試験後のエラーレートの変化 | なし | なし | なし | なし | なし |
| 電流密度 $2 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$, 環境温度80℃の通電試験, 1000時間まで抵抗値, および 抵抗変化率の変化 | なし | なし | なし | なし | なし |

【図30】

| 試作番号 (注) | 011 | 012 | 013 | 014 | 015 |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 再生出力が半減するマーク長 (周波数) (kFCI) | 157 | 155 | 152 | 157 | 153 |
| 再生出力 (peak to peak) (mV) | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.3 | 1.3 |
| ノイズ | 無し | 無し | 無し | 無し | 無し |
| 波形対称性 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 | 良好 |
| S/N (dB) | 26.5 | 26.3 | 26.4 | 26.2 | 26.3 |
| エラーレート | 10^{-6} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-8} 以下 | 10^{-6} 以下 | 10^{-8} 以下 |
| 80℃, 5000e, 2500時間 環境試験後のエラーレートの変化 | なし | なし | なし | なし | なし |
| 電流密度 $2 \times 10^7 \text{ A/cm}^2$, 環境温度80℃の通電試験, 1000時間まで抵抗値, および 抵抗変化率の変化 | なし | なし | なし | なし | なし |